

7	Totzeitregelungen	157
7.1	Ortskurve eines Totzeitelements	157
7.2	Totzeitregelung	157
7.3	Abtastregelkreis mit Totzeit	157
7.4	Identifikation eines Totzeitgliedes	158
7.5	* Betragsnäherung einer Totzeitregelstrecke	159
7.6	Totzeitregelung mit P-Element	160
7.7	Totzeitregelung mit I-Element	160
7.8	Untersuchung einer Totzeitregelung für verschiedene T_t	161
7.9	Regelkreisbemessung nach dem Betragsoptimum	161
7.10	* Stabilität einer Regelschleife mit Resonanz und Totzeit	162
7.11	I_2T_t -Element und Frequenzgangsortskurve	163
7.12	Stabilität einer IT_t -Schleife mit Beiwertbedingungen	163
7.13	* Vergleich PT_t - und PT_n -Element	164
7.14	* Entwurf eines P-Reglers an einer Totzeitstrecke bei unbekannter Störgrößenfrequenz	165
8	Abtastregelungen	167
8.1	Modifizierte z -Rücktransformation	167
8.2	Näherung der Ortskurve eines getasteten Signals	167
8.3	Abtastregelstrecke	168
8.4	Zulässige Abtastzeit in Totzeitabschätzung	169
8.5	Zulässige Abtastzeit für Stabilität	169
8.6	Abtastereinfluss auf die Stabilität	170
8.7	Dead-Beat-Regler	170
8.8	Stellgröße eines Abtastreglers	170
8.9	Abtastregelkreis mit integrierender Schleife	171
8.10	Bode-Diagramm von $F_o(z)$ ohne w -Ebene	171
8.11	Stabilität einer Abtastregelung mit und ohne Regler-Halteglied	171
8.12	Abtastzeit an der Stabilitätsgrenze	172
8.13	Stabilitätsgrenze mittels Wurzelortskurve	173
8.14	* Abtastregelkreis mit PDT_2 -Strecke	173
8.15	Abtastregelkreis. Stabilitätsbereich des P-Reglers	174
8.16	Dead-Beat-Verhalten zu den Abtastzeitpunkten	174
8.17	* Abtastregelung auf Sprung- und Exponentialeingang	174
8.18	Abtastregler-Differenzengleichung	175
8.19	* Reaktion einer getasteten Regelstrecke	176
8.20	* Abtastregelung mit Totzeit	177
8.21	Abtastregelkreis mit ein oder zwei Haltegliedern	179
8.22	Wurzelortskurve zu einer Abtastregelung mit Schleifendoppelpol	179
8.23	Abtastregelkreis mit Einheitsvorwärtzweig	180
8.24	Spektrum des Halteglieds nullter Ordnung	180
8.25	Verstärkungseinstellung bei einem Abtastregelkreis	181
8.26	* Entwurf eines Abtastregelkreises	181
8.27	Entwurf in der w -Ebene als integrale Schleife	182
8.28	* Näherungen für PT_{2s} -Element nach Euler und nach Tustin	182
8.29	Abtastregelung mit Einheitsregler	183
8.30	Differenzengleichung und z -Transformation	184
8.31	Verstärkung an der Stabilitätsgrenze	184
8.32	Abtaster vor dem Vergleichsglied	184
8.33	Ortskurve des Abtastsystems	185
8.34	Abschnittweise stabile Abtastregelung	185
8.35	Stabilitätsdiskussion mit Wurzelortskurve	186
8.36	Abtastregelung, Stabilität über T und V	186
8.37	* Schrittreger-Regelkreis	187
8.38	P-Regler mit verschiedener Abtastzeit	188
8.39	I-Regler mit verschiedener Abtastzeit	188
8.40	Schleppfehler bei einem Abtastregelkreis	189
8.41	* Abtastregler in Tustin-Näherung	190

8.42	Abtastregelung. Dead-Beat-Überprüfung	190
8.43	* Rechner-Regler	191
8.44	Stabilität in der w -Ebene	191
8.45	* Abtastregelkreis. Regler mit und ohne Halteglied	192
8.46	* Zeitoptimale zeitdiskrete Zustandsregelung	194
8.47	Abtastregelung mit verschiedenen Abtastzeiten	194
9	Mehrgrößenregelungen	195
9.1	P-kanonische Darstellung aus der V-kanonischen	195
9.2	Zweigrößensystem mit einseitiger Kopplung	196
9.3	Stabilität eines V-kanonischen Systems	196
9.4	Führungsautonomer Mehrgrößen-Regelkreis	196
9.5	* Zweischleifige Regelung mit Quereinflussung	197
9.6	* Regelkreis in nur teilweiser Funktion	197
9.7	Entkopplung einer Messmatrix	199
9.8	* Tilgung einer Verkopplung	199
9.9	* Mehrgrößenregelung ohne Kopplungsregler	200
9.10	Zweigrößenregelung und Routh-Stabilität	201
9.11	* Mehrgrößen-Abtastregelung im Zustandsraum	202
9.12	* Zweigrößenregelung mit I-Reglern	203
9.13	* Dynamisches Vorfilter zur Autonomisierung	204
9.14	Identität	204
9.15	Kontrollbeobachter	205
9.16	Grenzstabilität einer Zweigrößenregelung	205
9.17	* Schrittweise Verbesserung des Stabilitätsradius	206
9.18	Humanbiologischer Mehrgrößenregelkreis	206
10	Optimierung	207
10.1	Berechnung der L_2 -Norm im Zeitbereich	207
10.2	Berechnung der L_2 -Norm mit Residuensatz im Frequenzbereich	207
10.3	* Berechnung der L_2 -Norm mit dem Parseval-Theorem	207
10.4	* Berechnung der L_2 -Norm mit Controllability-Gramian	208
10.5	Zusammenhang zwischen den H_∞ -Normen des Ein- und Ausgangs im Zeitbereich	208
10.6	* Infinity-Norm des Ausgangs, 2-Norm des Eingangs	209
10.7	* Minimierung eines ITSE-Kriteriums	209
10.8	* IEXSE-Kriterium	210
10.9	* Hamilton-Matrix in H_2	210
10.10	Güteintegral	210
10.11	* LQ-Regler mit instabiler Strecke	211
10.12	* Minimierung unter Nebenbedingungen	211
10.13	* Optimal Modell-Referenzierung	211
11	Robuste Regelungen	213
11.1	Kurven konstanter Spektralnorm	213
11.2	Bauer-Fike-Theorem	213
11.3	Singulärwerte als Grenzen der Eigenwerte	214
11.4	* H_∞ -Norm einer PT_{2s} -Strecke samt Zustandsregelung	214
11.5	Nichtexistenz einer stabilen Regelung	215
11.6	Robuster I-Regler	216
11.7	* Kreiskriterium für Stabilitätsrobustheit	216
11.8	Robuster Abtastregelkreis	217
11.9	Robuste Stabilität einer Abtastregelung mit Totzeit	217
11.10	Streckentoleranz für Stabilität	217
11.11	* Robuster Eingrößenregler	218
11.12	* Robuster Regelkreis mit Routh-Kriterium	219
11.13	Robuster Regler nach Patel und Toda	220
11.14	Stabilitätsrobustheit von $\mathbf{A}$	221
11.15	* Robustes Führungsverhalten einer Eingrößenregelung	221

11.16 * Robustes Führungsverhalten	222
11.17 * Value Set	223
11.18 * Robustes Störungsverhalten einer Eingrößenregelung	223
11.19 H_∞ -Norm der Störungsübertragungsfunktion	224
12 Regelkreise auf stochastischer Basis	227
12.1 Leistungsdichte des Ausgangssignals	227
12.2 Regelkreis unter Messrauschen	227
12.3 Spektrale Leistungsdichte des Ausgangs	228
12.4 Rauschanregung	228
12.5 Approximation eines Rauschsignals	228
12.6 Abweichungsspektraldichte	229
12.7 * Regelkreis unter Störungsrauschen	229
12.8 Spektraldichten des Ausgangs	230
12.9 Spektraldichte des Ausgangs bei Anregung mit weißem Rauschen	230
12.10 Identifikation aus Spektraldichten	231
12.11 * Identifikation im geschlossenen Regelkreis	231
12.12 Messrauschminderung	231
12.13 Optimale Verstärkung eines Parallel-Elements	232
12.14 * Minimum der Ausgangsspektraldichte	232
12.15 Formfilter	233
12.16 * Stochastischer Regelkreis	233
12.17 * Entwurf auf Störung und Messrauschen	234
12.18 * Optimale Vorhersage eines Nutzsignalrauschens	236
12.19 Rauschersatz: Resonanzamplitude und -frequenz	237
12.20 Abschätzung der Rauschleistung	237
12.21 Auswirkung des Messrauschens auf die Stellgröße	238
13 Zweipunktregelungen	239
13.1 Phasenlinien einer linearen Regelstrecke	239
13.2 Isoklinen und Trajektorien eines Regelkreises	239
13.3 Isokline und Trajektorie	240
13.4 * Nichtlinearer Regelkreis in der Phasenebene	241
13.5 Zeitoptimale Steuerung eines Zweifachintegrators	242
13.6 Unstetiger Greifer-Regler	242
13.7 Unstetiger Regler mit Hysterese	243
13.8 * Zweipunktregelung mit sprungfähiger Regelstrecke in der Phasenebene	244
13.9 * Zweipunktregler mit sprungfähiger Strecke nach Zypkin	245
13.10 Zweipunktregler mit interner Rückführung	246
13.11 Unstetiger Regler ohne Hysterese	246
13.12 Regelung mit Hysterese und zusätzlicher P-Rückführung	246
13.13 * Grenzyklus an einem PDI_2 -System	247
13.14 Zustandskurven bei Hysterese-Zweipunktelement	248
13.15 Abschätzungen an einem Zweipunktregelkreis	249
13.16 * Zweipunktsteuerung/regelung an dämpfungsfreiem PT_{2s} -System	249
13.17 * Zweipunktregelung an einer PT_1 -Strecke	251
13.18 * Zweipunktregelung an mittelwertbildender I_1 -Strecke	252
13.19 * Dreipunktregler und Gleiten	253
13.20 Stückweise linearer Regler und I_1 -Strecke	254
13.21 Stückweise linearer Regler und IT_1 -Strecke	256
13.22 Regelung mit I_2 -Schleife und Begrenzung	258
13.23 Linearer Regler mit Totzone	258
13.24 Korrektur einer mechanischen Turmuhr	259
13.25 * Zweipunktregler mit Hysterese und instabiler PT_1 -Strecke	260

14 Grenzyklen mittels Beschreibungsfunktion	261
14.1 Zweipunktelement ohne Hysterese	261
14.2 Zweipunktelement mit Hysterese	261
14.3 * Dreipunktregler	261
14.4 * IT ₂ -System und P-Regler mit Ansprechschwelle	262
14.5 * Zweipunktregelkreis mit instabiler P-Strecke	264
14.6 Zweipunktregelkreis. Anregelzeit	264
14.7 Zweipunktregler mit IT ₂ -Strecke	265
14.8 Zweipunktregler mit IT ₁ -Strecke	265
14.9 Zweipunktregler mit zweifach instabiler Strecke	265
14.10 Integrierende Rückführung zum Zweipunktregler	268
14.11 * Instabile Strecke mit frequenzabhängiger Beschreibungsfunktion	269
14.12 * Phasenbahnen und Beschreibungsfunktion	269
15 Fachübergreifende und komplexere Aufgabenstellungen	271
15.1 Linearisierung. Nichteinstellbarer Arbeitspunkt	271
15.2 Zweischleifiger Regelkreis mit verschiedenen Schnittstellen	273
15.3 Autopilotenmodell	274
15.4 * Mehrgrößenregelung. Versteckte überflüssige Pole	276
15.5 Nicht steuerbare (nicht stabilisierbare) Regelstrecke	279
15.6 Methode bei unterschiedlichen Eigenwerten	280
15.7 Nicht-Steuerbarkeit in Frequenzbereichs-Darstellung	280
15.8 Steuerbarkeit mit Gram-Steuerbarkeitsmatrix	280
15.9 Steuerbarkeit nach Hautus	281
15.10 Steuerbarkeit bei Eingrößensystemen	281
15.11 Steuerbarkeit an Laplace-Rücktransformation	281
15.12 Veranschaulichung der Nicht-Steuerbarkeit	281
15.13 Pol-Nullstellen-Mindestabstand	282
15.14 Fuzzy Regelung	282
15.15 Editor für Zugehörigkeitsfunktion, Regeln und Defuzzifizierung	284
15.16 * Deterministisch-chaotische Regelung	285
15.17 * H _∞ -Regelung an einer Magnetschwebestrecke	285
15.18 * Symmetrische Wurzelortskurve	287
15.19 * Robuste Internal-Model-Control	288
15.20 * Differentiell flaches System	289
16 Numerische und symbolische Computerunterstützung	291
16.1 MATLAB numerisch. Kurskurs	291
16.2 MATLAB symbolisch. Kurskurs	291
16.3 Simulink	292
16.4 * Connect-Anwendung an einem Zweigrößen-System	292
16.5 * Auswertungen mit MAPLE und MATLAB	294
A Verzeichnis häufig verwendeter Formelzeichen	295
A.1 Allgemeine Hinweise	295
A.2 Verknüpfungssymbole	295
A.3 Hochgestellte Symbole	296
A.4 Indizes	296
A.5 Operationszeichen	296
A.6 Symbole spezieller Art	297
B Literatur	301
C Sachverzeichnis	303

Test- und Prüfungsaufgaben Regelungstechnik
457 durchgerechnete Beispiele mit analytischen,
numerischen und computeralgebraischen Lösungen
in MATLAB und MAPLE

Weinmann, A.

2007, IV, 310 S., Softcover

ISBN: 978-3-211-37135-0